



REGIONE BASILICATA  
PROVINCIA DI MATERA  
COMUNE DI TRICARICO



# PROGETTO DEFINITIVO - Autorizzazione Unica ex d.lgs. 387/2003

Impianto fotovoltaico di potenza nominale pari a  
12,64°MWp e relative opere di connessione proposti da  
Solaria Promozione e Sviluppo Fotovoltaico srl in agro del  
Comune di Tricarico denominato "Tricarico 1"

Titolo elaborato

Codice elaborato

## A.2. Relazione geologica

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
007.22.01	A	R02	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Scala

—
---

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
MAGGIO 2022	PRIMA EMISSIONE	Luca Bargagna	Luca Bargagna	Solaria

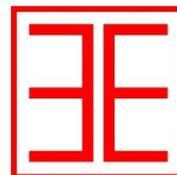
Proponente

Progettazione



**Solaria Promozione e Sviluppo  
Fotovoltaico srl**

Via del Babuino 51  
00187 Roma  
solariapromozionesviluppofotovoltaicosrl  
@legalmail.it



**3E Ingegneria srl**

Via G. Volpe, 92 56121 PISA  
Tel. +39 050 44428  
[info@3eingegneria.it](mailto:info@3eingegneria.it)  
[www.3eingegneria.it](http://www.3eingegneria.it)

Consulenze specialistiche

### GEOLOGIA:

Dott. Geol. Luca Bargagna  
Via Ascanio Tealdi, 16  
56124 Pisa  
Tel/Fax: +39 050 9910582  
Mob: +39 328 7673773  
e-mail: [lb75.geo@gmail.com](mailto:lb75.geo@gmail.com)  
e-mail  
certificata: [lb75.geo@pec.it](mailto:lb75.geo@pec.it)

### Studio Professionale Agroambientale

Agronomo MONTANARO Michele  
P.zza Padre P. Gallipoli, 9  
75024 Montescaglioso (MT)  
tel/fax 0835404961 cell 3395324210  
mail:montanaromichele@virgilio.it  
@pec: [m.montanaro@epap.conafpec.it](mailto:m.montanaro@epap.conafpec.it)

### ARCHEOLOGIA:

Dott.ssa Gloriana Pace  
Archeologa PhD  
Via Carlo Cassola, 13  
56033 Capannoli (PI)  
Tel./Fax: +39 0587607539  
Mobile: +39 3494075038  
E-mail: [gloriana.pace@virgilio.it](mailto:gloriana.pace@virgilio.it)

### TOPOGRAFIA:

Geom. Vittorio Angelelli  
S.T.A.  
Via Rio Secco 11,  
41057 Spilamberto (Mo)  
+39 3483344739

# Relazione Geologica

Impianto fotovoltaico “Tricarico 1” e relative opere di connessione  
Comune di Tricarico (MT)



**Dott. Geol. Luca Bargagna**

Via Ascanio Tealdi, 16

56124 Pisa

Mob: +39 328 7673773

e-mail: lb75.geo@gmail.com

16/05/2022

## SOMMARIO

1	Premessa.....	3
2	Inquadramento geologico .....	5
2.1	Cenni di Geologia Regionale.....	5
2.2	Formazioni affioranti.....	6
2.3	Geomorfologia ed Idrogeologia .....	9
2.4	Vincolo Idrogeologico.....	11
3	Pericolosità – Quadro conoscitivo .....	12
3.1	Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dell’Autorità di Bacino della Basilicata .....	12
3.2	Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Idrografico dell’Appennino Meridionale.....	14
4	Modellazione Geologico-tecnica preliminare .....	17
4.1	Modello stratigrafico dell’area.....	17
4.2	Modello Geotecnico preliminare dell’area .....	17
5	Modello Sismico dell’area.....	18
5.1	Classificazione sismica regionale.....	18
5.2	Definizione dell’azione sismica.....	18
5.3	Condizioni topografiche e categoria di sottosuolo .....	21
5.4	Determinazione frequenza di sito.....	21

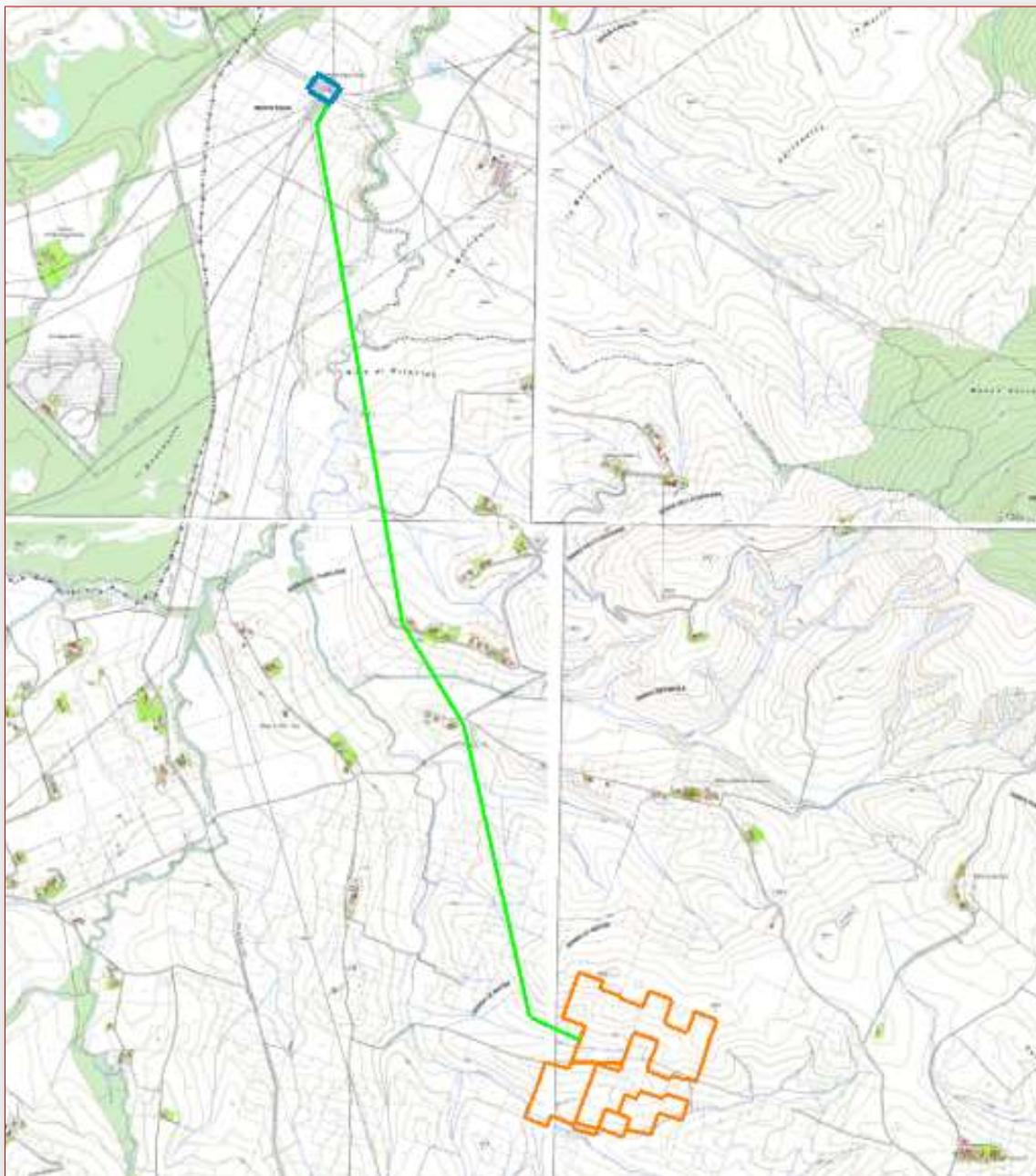
## IN ALLEGATO

### ALLEGATO 1 – INDAGINI GEOFISICHE

## 1 Premessa

La presente relazione, elaborata ai sensi della vigente normativa nazionale e regionale, fornisce l'inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico del territorio interessato dalla realizzazione dell'impianto fotovoltaico denominato "Tricarico 1", ricadente nel territorio comunale di Tricarico, nella provincia di Matera, Regione Basilicata (inquadramento corografico in Figura 1).

**Figura 1:** Inquadramento corografico dell'impianto Tricarico 1 su base CTR (estratto Fogli 471110, 471100, 471070 e 471060), in arancione l'area dell'impianto ed in verde il tracciato della linea a 20 kV



La relazione definisce inoltre la pericolosità geologica ed idraulica dell'area di intervento, ricavata dalla pianificazione a livello di Distretto Idrografico.

Il progetto è presentato dalla Solaria Promozione e Sviluppo Fotovoltaico s.r.l., e prevede la realizzazione di un impianto di potenza nominale pari 12,64 MWp ubicato in un'area posta a circa 35 km a nord-ovest della città di Matera.

## 2 Inquadramento geologico

L'area oggetto della presente relazione è situata nella porzione centro-orientale della provincia di Matera, nel territorio comunale di Tricarico.

L'area d'intervento dell'impianto "Tricarico 1" è posto in una zona collinare ad una quota compresa tra 300 e 400 metri s.l.m.m..

### 2.1 Cenni di Geologia Regionale

L'assetto geologico attuale della Basilicata è il risultato di imponenti deformazioni tettoniche che hanno determinato accavallamenti e traslazioni di masse rocciose e terrigene, anche di notevolissime proporzioni, da Ovest verso Est, verso l'Avampaese Apulo, con complessiva contrazione spaziale.

I tra domini che caratterizzano il sistema orogenico del settore dell'Italia meridionale sono:

- La Catena rappresentata dall'Appennino Campano-Lucano
- L'Avanfossa rappresentata dall'Avanfossa Adriatica
- L'Avampaese rappresentata dalla regione Apulo-Garganica

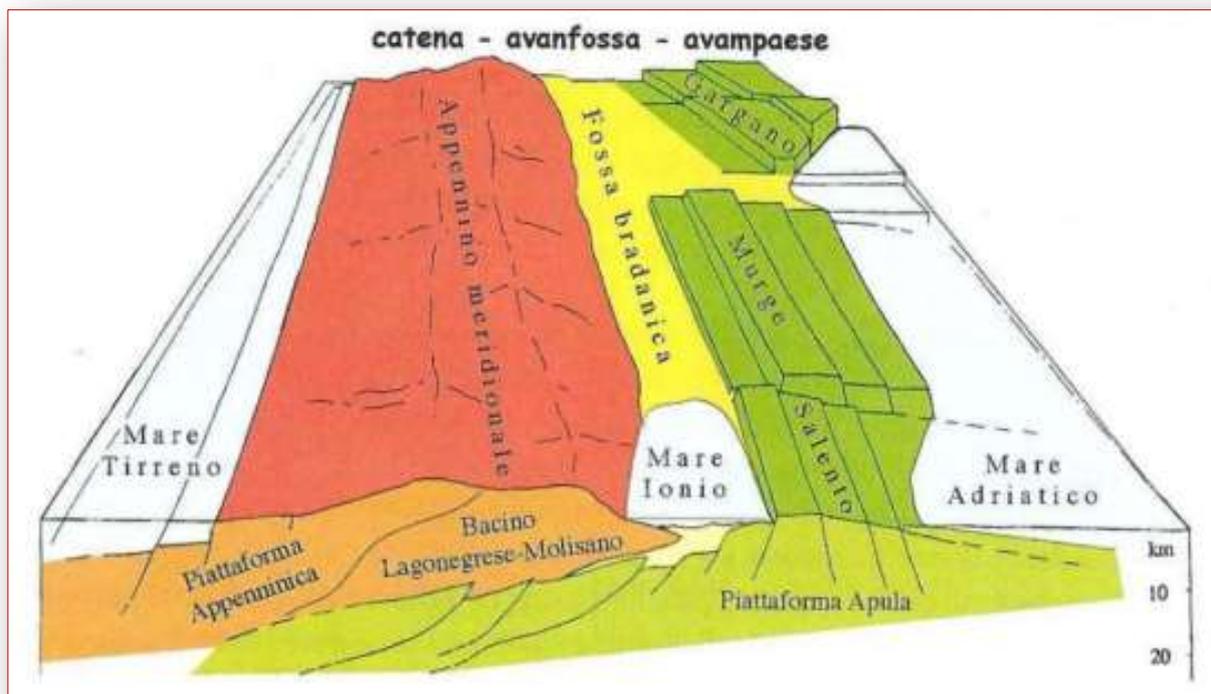
Le caratteristiche geologiche, morfologiche e tettoniche attuali della regione possono essere quindi interpretate come il risultato complessivo degli sconvolgimenti tettonici che, soprattutto nella fase miocenica-pleistocenica dell'orogenesi appenninica, hanno interessato le unità geologiche preesistenti e della continua evoluzione paleogeografica che i tre domini del sistema orogenico appenninico hanno subito nel tempo.

Il sistema orogenico appenninico si è formato a partire dall'Oligocene Superiore-Miocene inferiore, dal progressivo accavallamento da Ovest verso Est, dovuto a compressione, di unità stratigrafico-strutturali mesozoico-paleogeniche e di unità sinorogeniche di avanfossa.

Il comune di Tricarico è posto in una zona in cui sono presenti due unità tettoniche principali: una geometricamente superiore denominata unità tettonica di Vaglio di Basilicata, costituita da una successione sedimentaria rappresentativa della porzione cretaco-burdigaliana del Bacino lagonegrese, ed una inferiore denominata unità tettonica di San Chirico, costituita da una successione sedimentaria riferibile ad un dominio paleogeografico che è stato soggetto a profondi mutamenti nel tempo.

Quest'ultima unità è ulteriormente suddivisa in due porzioni con due significati geodinamici differenti: una porzione bassa, di età cretaco-miocenica, riferibile alla parte sommitale della successione lagonegrese, ed una porzione alta, di età medio-miocenica, appartenente al Bacino irpino, che rappresenta uno dei primi domini di avanfossa dell'orogene appenninico.

Figura 2 – Schema del sistema catena Avanfossa-Avampaese



## 2.2 Formazioni affioranti

L'area di indagine è dominata dall'affioramento delle argille subappennine (Figura 3 nella pagina seguente), appartenenti all'Unità della Fossa Bradanica, alla quale sono state attribuite due unità formazionali, le argille subappennine, cui si intercala un membro conglomeratico, e la sovrastante formazione di Monte San Marco, cui si intercalano sette lenti conglomeratiche.

La formazione delle argille subappennine (**ASP**), corrispondente alle Argille di Gravina, affiora principalmente nella zona centrale della Fossa bradanica. Si tratta della parte affiorante della porzione emipelagica post-torbiditica della successione di riempimento della Fossa bradanica, con uno spessore di almeno 2000 metri ed un'età compresa tra il Pliocene inferiore e l'Emiliano.

La formazione è rappresentata da argille siltose, silt argillosi e, a tratti, da silt sabbiosi di colore grigio-azzurro, con intercalazioni sabbiose o, più raramente, conglomeratiche. Si presenta in strati di spessore variabile da pochi centimetri ad oltre un metro. Si osservano anche strati gradati normalmente, spesso caratterizzati dalla presenza di strutture quali lamine piano-parallele o *ripple*.

L'ambiente di sedimentazione di questa formazione è riferibile ad una rampa, cioè un pendio deposizionale (attualmente non più ampio di 15 km) a debole inclinazione, che collegava le aree a sedimentazione paralicca con le aree bacinali.

Inoltre, per quanto riguarda l'impianto "Tricarico 1", parti del tracciato sono ubicate in corrispondenza dell'affioramento dei sistemi di Pezza Chiarella (**PZC**) e dei depositi alluvionali (**b<sub>a</sub>**),

mentre l'area dell'impianto ricade in parte in corrispondenza dell'affioramento del sintema di Santa Maria d'Irsi (SMS).

**Figura 3** – Carta Geologica d'Italia – ISPRA Foglio n°471 Irsina (Impianto Tricarico 1), in verde il tracciato ed in arancione l'area dell'impianto

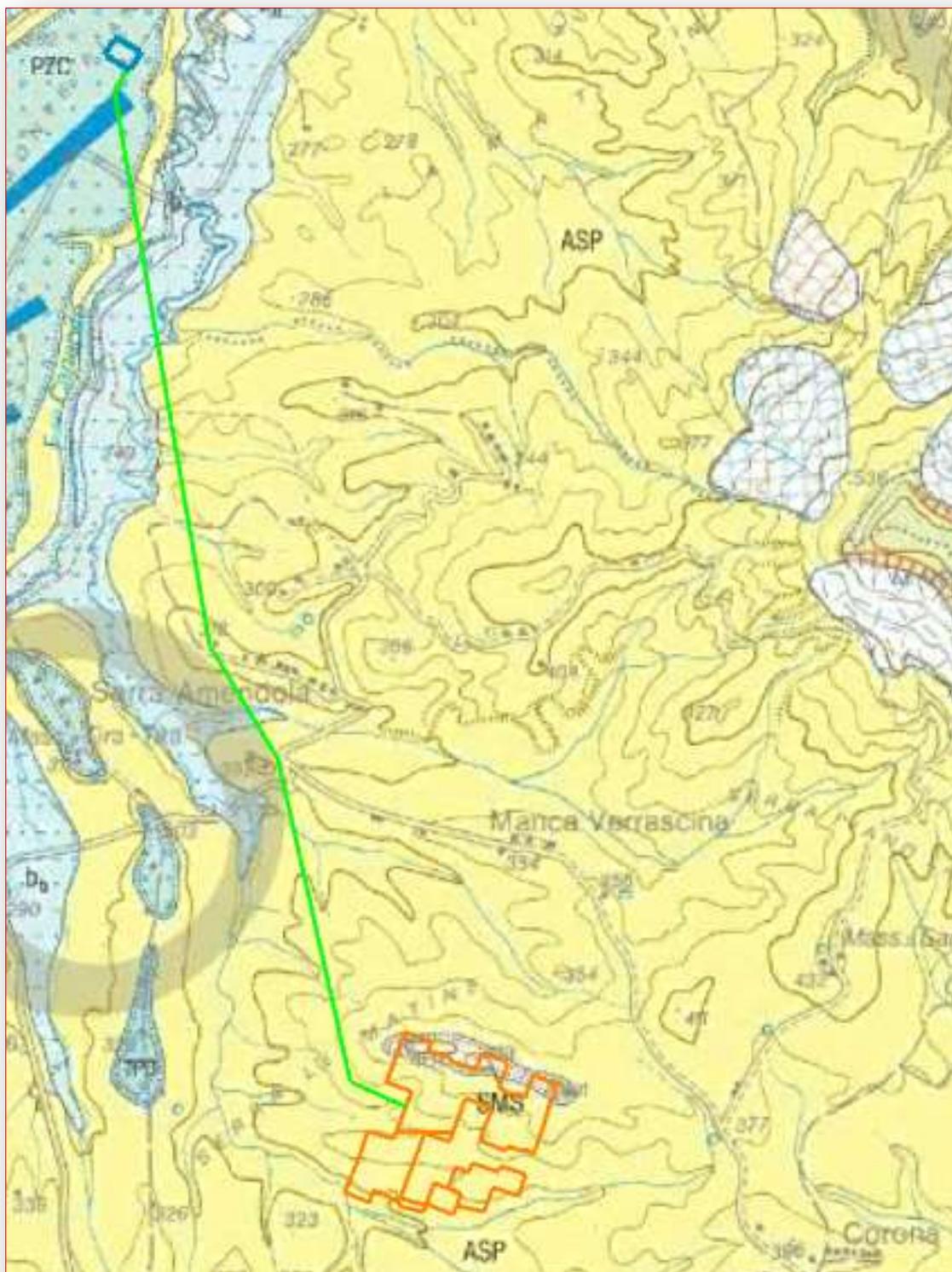
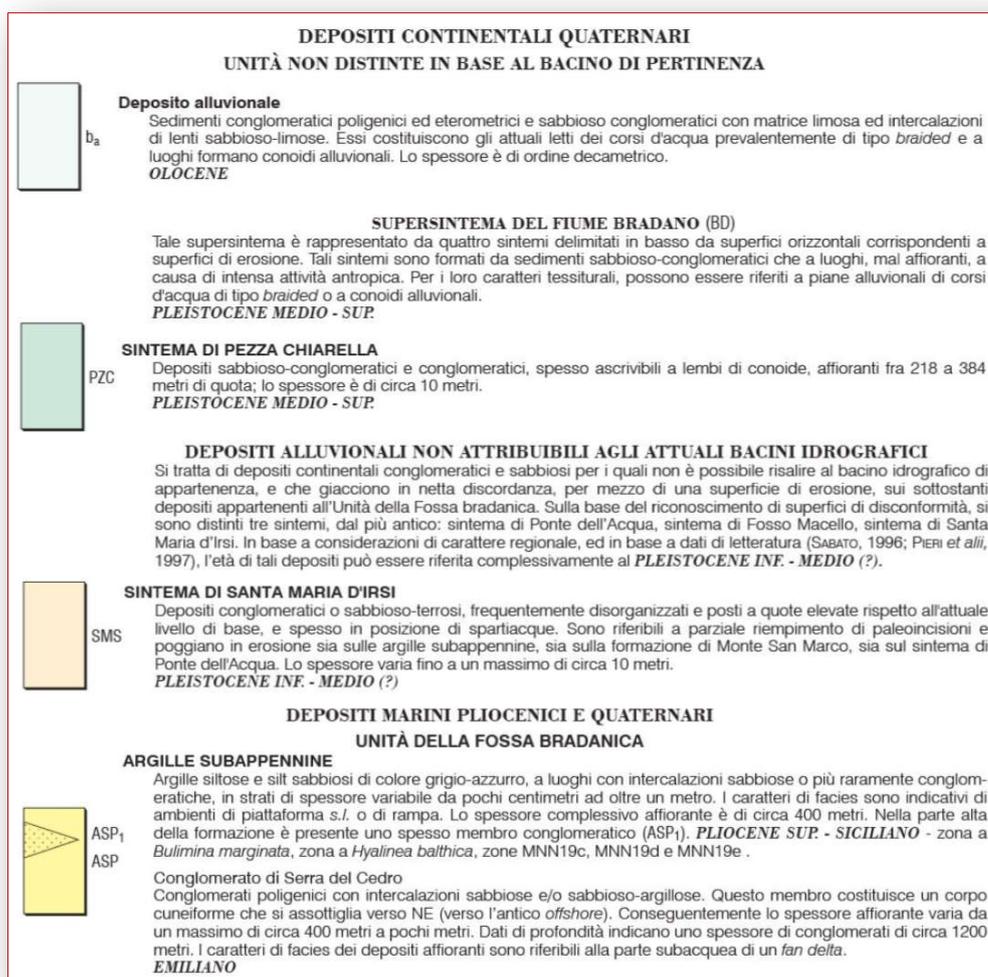


Figura 4 – Legenda Carta Geologica d'Italia (formazioni affioranti)



Il primo sistema appartiene al Supersistema del Fiume Bradano, il quale comprende i depositi ascrivibili a quattro ordini di terrazzi. Il sistema di Pezza Chiarella si rinviene a partire da una quota di 218 a 384 metri s.l.m.m. e presenta ampi lembi di depositi di conoide alluvionale in corrispondenza della confluenza della Fiumara di Tolve con l'asta principale del Fiume Bradano e della confluenza del Fosso San Chirico con il Fosso Canapile. Si tratta di depositi sabbioso-conglomeratici e conglomeratici, aventi uno spessore di circa 10 metri.

Il sistema di Santa Maria d'Irsi, non è attribuibile agli attuali bacini idrografici, in quanto giace in netta discordanza, per mezzo di una superficie di erosione, sui sottostanti depositi appartenenti all'Unità della Fossa Bradanica. Questo sistema è costituito da depositi conglomeratici o sabbioso-terrosi, frequentemente disorganizzati, con uno spessore variabile fino ad un massimo di circa 10 metri. Tali depositi poggiano in erosione sia sulle argille subappennine, sia sulla formazione di Monte San Marco, e sono posti a quote elevate rispetto all'attuale livello di base dei corsi d'acqua presenti nell'area di Irsina, spesso in posizione di spartiacque, e sono riferibili a parziale riempimento di paleoincisioni. L'ambiente è di tipo continentale.

Infine, vi sono i depositi alluvionali, presenti nei fondovalle dei corsi d'acqua, costituiti da sabbie e da sabbie e silt a cui possono intercalarsi lenti e livelli conglomeratici.

## 2.3 Geomorfologia ed Idrogeologia

L'area in esame può essere suddivisa dal punto di vista morfologico in due zone distinte: l'area appenninica, più occidentale, e la Fossa bradanica più orientale.

La prima è rappresentata da una serie di dorsali che si allungano, parallelamente tra loro, da NNO a SSE, con rilievi strettamente legati ai caratteri lito-strutturali della regione.

La Fossa bradanica invece ha una morfologia abbastanza regolare, caratterizzata da rilievi collinari di tipo tabulare a sommità pianeggiante, che costituiscono dorsali poste a 500-600 metri s.l.m.m., separate da corsi d'acqua.

La dorsale più settentrionale di questa zona è quella sulla quale poggia l'abitato di Irsina, un'altra dorsale si estende tra Monte Verrutoli e Corona Romana, ed infine più a sud si erge quella che ospita il centro urbano di Grassano. Tra la dorsale di Irsina e quella di Monte Verrutoli scorre il Fiume Bradano, mentre tra quest'ultima e quella di Grassano, il Torrente Bilioso.

I rilievi, in relazione alle loro condizioni litologiche e giaciture, presentano, a luoghi, caratteristiche geomorfologiche dovute a processi di erosione differenziata.

In particolare, le sommità pianeggianti delle dorsali, costituite in prevalenza da sedimenti sabbioso-conglomeratici, sono a luoghi delimitate da gradini, cui seguono verso il basso, in corrispondenza degli affioramenti argillosi, tratti meno inclinati.

La superficie sommitale, ridotta ormai a lembi residui, corrisponderebbe a più piane costiere formatesi in relazione alla regressione marina durante il Pleistocene inferiore.

Su questa superficie si può notare un reticolo idrografico "relitto" rappresentato da brevi vallecole. Sui tratti più elevati dei versanti dei rilievi collinari della Fossa bradanica è possibile osservare la presenza di lembi di una superficie poco inclinata costituita da depositi colluviali provenienti dallo smantellamento delle parti più elevate delle colline. Questi sedimenti a luoghi possono coprire e modellare corpi di antiche frane le cui nicchie di distacco contornano le piatte sommità delle colline stesse.

Il Fiume Bradano è il corso d'acqua più importante dell'area. Esso scorre da NO a SE ed il suo andamento nel primo tratto, fino alla confluenza con la Fiumara di Tolve è a meandri, poi assume un tracciato con andamento a treccia e scorre su un fondo valle piuttosto ampio nel quale ben si distingue una piana alluvionale incisa e terrazzata soggetta a periodiche esondazioni.

Il Fiume Bradano ha inoltre come principale affluente il Torrente Bilioso ed è caratterizzato da una rete idrografica piuttosto ramificata.

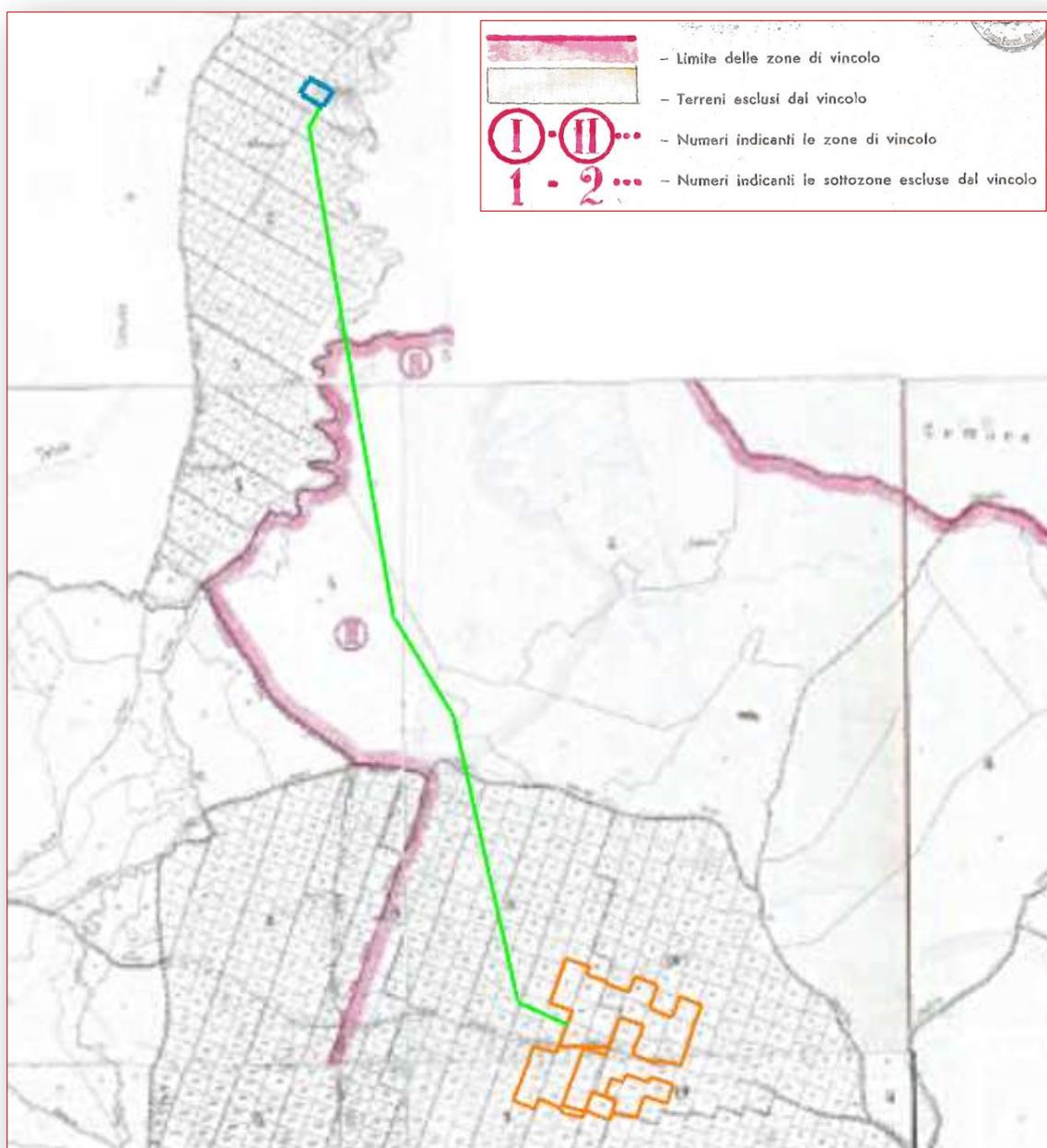
In particolare l'impianto Tricarico 1 oltrepassa diversi fossi minori ed il Fosso Canapile, affluente della Fiumara di Tolve, rispetto alla quale è situato in destra idrografica e ad una distanza minima di

circa 600 metri. La Fiumara di Tolve è un affluente del Fiume Bradano situato più a valle, dal quale l'impianto dista circa 2,8 km ed è posto in destra idrografica.

In generale, il regime dei principali affluenti è tipicamente torrentizio, con piene nei periodo autunno-inverno e magre estive.

In tutta l'area le risorse idriche sono limitate, sia per quanto riguarda le manifestazioni sorgentizie che per quanto concerne la falsa idrica sotterranea. Ciò è legato alle modeste precipitazioni annue e alla diffusa presenza di terreni poco permeabili o addirittura impermeabili.

**Figura 5** – Cartografia Vincoli Idrogeologici – viewGis del portale RSDI della Regione Basilicata – Impianto "Tricarico 1"



Le modalità con cui si sviluppa la circolazione idrica sotterranea dipendono dall'assetto stratigrafico-strutturale e dalla configurazione morfologica, si hanno pertanto notevoli differenze tra il settore appenninico e quello bradanico.

Il settore bradanico è dominato dalla presenza di un potente substrato impermeabile, costituito dalla formazione delle argille subappennine, a cui si sovrappongono localmente terreni marini e alluvionali permeabili per porosità.

Tale situazione stratigrafica associata alla scarsa fratturazione delle rocce a contatti stratigrafici suborizzontali determinano l'esistenza di due tipi principali di acquiferi, uno rappresentato dagli acquiferi presenti nei depositi sabbioso-conglomeratici a permeabilità medio-bassa affioranti nelle zone collinari, ed uno identificabile con gli acquiferi presenti nei depositi alluvionali quaternari caratterizzati da una buona permeabilità per porosità e affioranti nelle zone di subalveo.

I primi hanno importanza locale, sono multistrato, con scarsa continuità laterale, caratterizzati da forte escursione annuale e strettamente dipendenti dalle precipitazioni, ed alimentano piccole sorgenti presenti lungo i versanti delle colline.

Gli acquiferi presenti nelle zone di subalveo dei fiumi Bradano e Basenti e dei principali affluenti rappresentano l'unica risorsa idrica dell'area. Questi acquiferi sono monostrato a superficie libera.

## 2.4 Vincolo Idrogeologico

La verifica delle aree sottoposte a vincolo idrogeologico redatte ai sensi del R.D. 3267/1923 è stata effettuata dal sito *viewGis* del portale del RSDI della Regione Basilicata (estratto in Figura 5 nella pagina precedente), da cui emerge che l'impianto "Tricarico 1" e parte del tracciato ricadono nelle aree sottoposte a Vincolo Idrogeologico.

### 3 Pericolosità – Quadro conoscitivo

#### 3.1 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Basilicata

Il territorio comunale di Tricarico ricade tra quelli di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale - Sede Basilicata, ed in particolare nel Bacino della Unit of Management (UoM) Bradano (euUoMCode ITI012, ex bacino idrografico del Bradano).

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino della Basilicata, ai sensi della Legge n.183/1989 e Legge n.493/93, è stato approvato dal Comitato Istituzionale con Delibera n.26 del 05/12/2001.

A partire da tale data il PAI è stato regolarmente aggiornato sulla base dello stato di realizzazione delle opere programmate, delle variazioni della situazione morfologica ed ambientale dei luoghi ed in funzione degli studi conoscitivi intrapresi secondo quanto previsto dalle norme di attuazione del Piano medesimo. Il PAI attualmente vigente è stato approvato dal Comitato Istituzionale con Delibera n.11 del 21/12/2016 e risulta vigente dalla pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n.33 del 09/02/2017.

Risultano inoltre attualmente adottati il "Progetto di Variante al Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico – Aree di versante" Aggiornamento 2018, approvato dalla Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale con Delibera n.4.9\_1 del 20/12/2019, ed il "Progetto di Variante al Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico – Aree di versante" – Aggiornamento 2019, approvato dalla Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale con Delibera n.4.9\_2 del 20/12/2019. Entrambe le varianti adottate non comprendono il territorio comunale di Tricarico.

Il PAI ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idraulico e idrogeologico nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Basilicata.

Il Piano ha la funzione di eliminare, mitigare o prevenire i maggiori rischi derivanti da fenomeni calamitosi di natura geomorfologica o di natura idraulica perimetrando le aree a maggior rischio idraulico e idrogeologico per l'incolumità delle persone, per i danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture nonché gli interventi prioritari da realizzare e le norme di attuazione relative alle suddette aree. Il Piano ha, inoltre, l'obiettivo di promuovere gli interventi di manutenzione del suolo e delle opere di difesa nonché di promuovere le azioni e gli interventi necessari a favorire le migliori condizioni idrauliche e ambientali del reticolo idrografico, le buone condizioni idrogeologiche e ambientali dei versanti e la piena funzionalità delle opere di difesa essenziali alla sicurezza idraulica e idrogeologica.

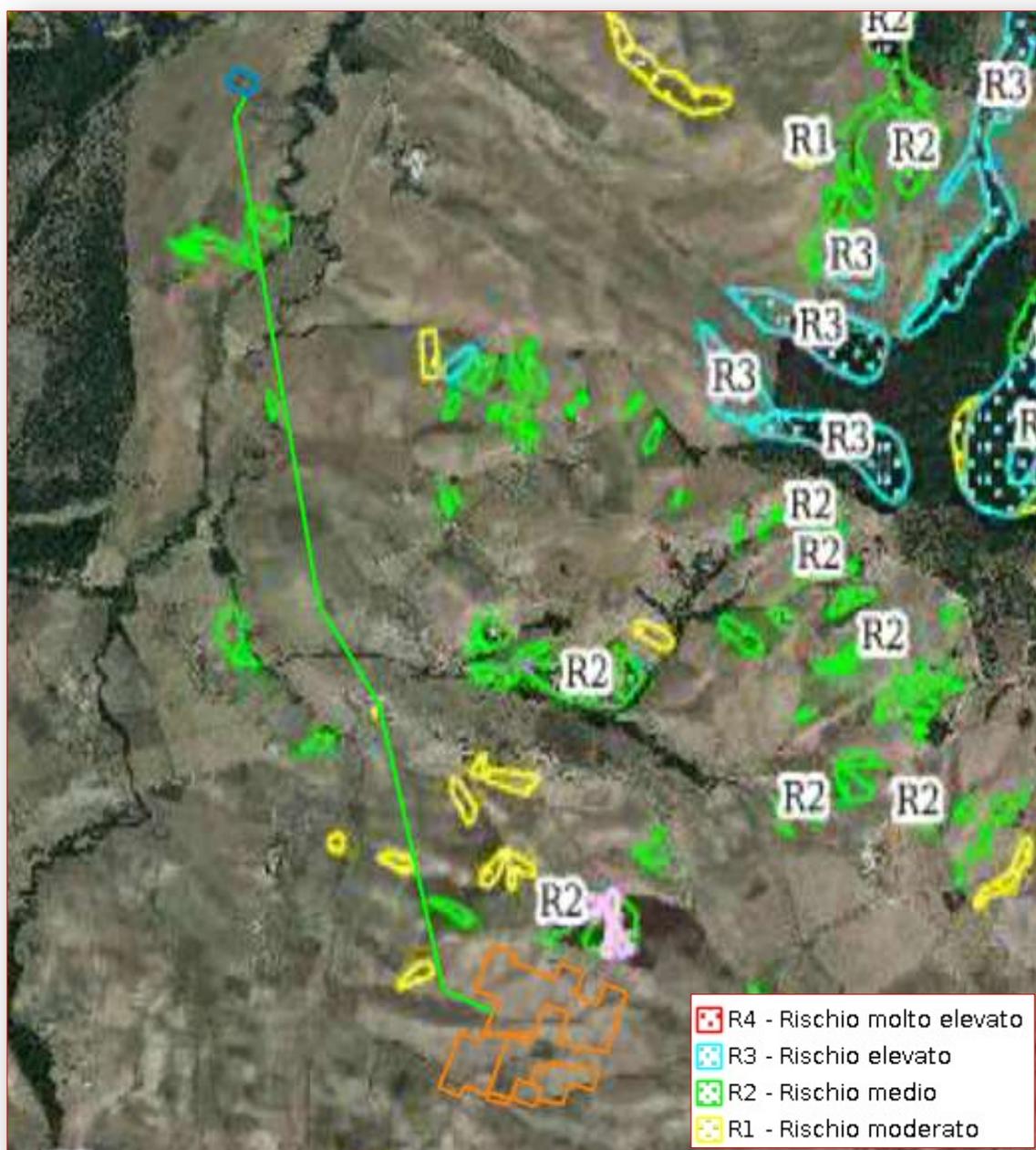
Il PAI, che si compone di Relazione generale, Norme Tecniche di Attuazione ed elaborati cartografici, è suddiviso in:

- Piano Stralcio delle Aree di Versante, riguardante il rischio da frana

➤ Piano Stralcio per le Fasce Fluviali, riguardante il rischio idraulico

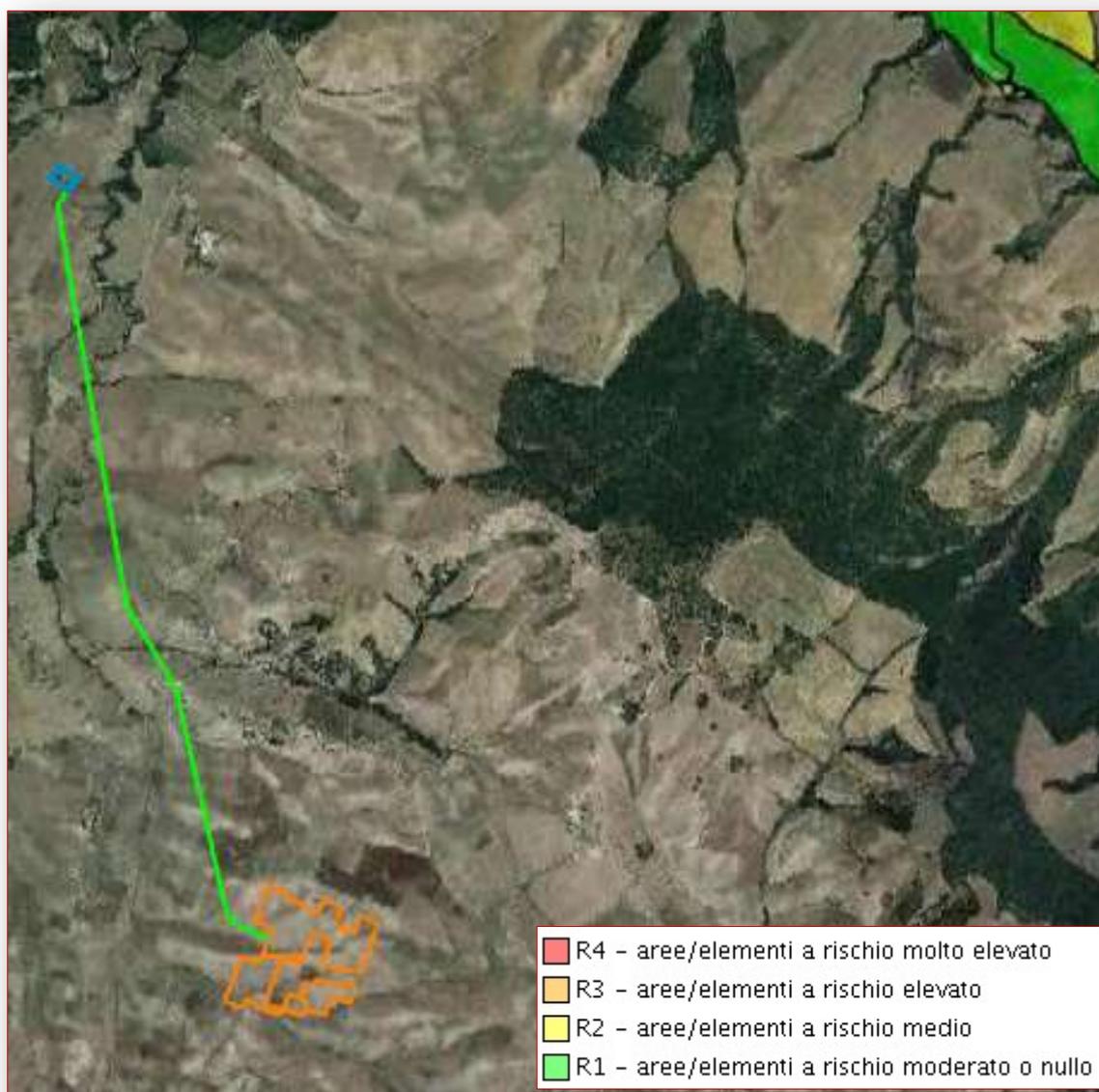
Relativamente al rischio da frana (Piano Stralcio delle Aree di Versante), si è proceduto alla consultazione del Geoportale della Regione Basilicata, tuttora in aggiornamento, dal quale emerge che l'impianto "Tricarico 1" è posto per la maggior parte in aree non classificate a rischio da frana, coincidendo solo in due tratti del tracciato con aree classificate a rischio da frana medio (R2) (estratto in Figura 6).

**Figura 6** – Perimetrazione delle aree a rischio da frana – Piano Stralcio delle Aree di Versante – PAI ex AdB Basilicata (dal sito viewGis del RSDI Basilicata) - Impianto Tricarico 1



Relativamente al rischio idraulico (Piano Stralcio delle Fasce Fluviali), anche in questo caso si è proceduto alla consultazione del Geoportale della Regione Basilicata, tuttora in aggiornamento, dal quale emerge che l'impianto "Tricarico 1" ricade interamente al di fuori delle aree classificate a rischio idraulico (estratto in Figura 7).

**Figura 7** – Perimetrazione delle aree a rischio idraulico – Piano Stralcio delle Aree di Versante – PAI ex AdB Basilicata (dal sito viewGis del RSDI Basilicata) - Impianto Tricarico 1



### 3.2 Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale

Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni - Il ciclo 2016-2018 (PGRA) del Distretto idrografico Appennino Meridionale, in cui ricade il comune di Tricarico, è stato adottato con Delibera n.1 del Comitato Istituzionale Integrato del 17/12/2015 e successivamente approvato con Delibera n.2 del Comitato

Istituzionale Integrato del 03/03/2016. Con l'emanazione del DPCM in data 27/10/2017, pubblicato in Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n.28 del 3/02/2017, si è concluso il I ciclo di Gestione.

Attualmente sono in corso le attività del II ciclo (2016-2021) che prevede, ai sensi dell'art. 12 del D.Lgs 49/2010 attuativo della Direttiva 2007/60/CE, il riesame e l'aggiornamento del Piano. Con Delibera n.2 della Conferenza Istituzionale Permanente del 29/12/2020 è stato adottato il progetto di aggiornamento del PGRA che comprende la valutazione preliminare del rischio di alluvioni, l'aggiornamento delle mappe di pericolosità e rischio di alluvioni e la relazione metodologica di aggiornamento e revisione del Piano.

Il PGRA, introdotto con la Direttiva 2007/60/CE, contiene il quadro di gestione delle aree soggette a pericolosità e rischio individuate nei distretti, delle aree dove possa sussistere un rischio potenziale significativo di alluvioni e dove si possa generare in futuro, nonché delle zone costiere soggette ad erosione. Il PGRA costituisce lo strumento operativo e gestionale in area vasta per il perseguimento delle attività di valutazione e di gestione dei rischi di alluvioni al fine di ridurre le conseguenze negative per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali derivanti dalle stesse alluvioni, nel distretto idrografico di riferimento.

Per ogni UoM sono state predisposte mappe di pericolosità da alluvione e mappe del rischio di alluvioni.

Le mappe di pericolosità individuano le aree geografiche che potrebbero essere interessate da inondazioni in corrispondenza di tre diversi scenari di probabilità:

- Scarsa probabilità o scenari di eventi estremi: tempo ritorno eventi alluvionali maggiore di 200 anni fino a 500 anni e Livello di Pericolosità P1
- Media probabilità di alluvioni: tempo ritorno eventi alluvionali compreso tra 100 e 200 anni e Livello di Pericolosità P2
- Elevata probabilità di alluvioni: tempo ritorno eventi alluvionali compreso tra 20 e 50 anni e Livello di Pericolosità P3

Le mappe di rischio, sulla base delle indicazioni del D.lgs. 49/2010, rappresentano le 4 classi di rischio, definite sulla base di differenti parametri (abitanti, infrastrutture e strutture strategiche, beni ambientali, storici e culturali, attività economiche, impianti industriali, etc.).

Si evidenzia che il PGRA definisce la strategia per la gestione del rischio di alluvioni e, pertanto, le mappe non sono dotate di un sistema di Norme di Attuazione vincolistico sul territorio ma solamente un programma di misure da attuarsi sul territorio a cura degli enti competenti. Tale sistema per la gestione del rischio di alluvioni prevede misure di prevenzione, protezione, preparazione e recupero delle condizioni pre-evento.

Le aree perimetrate dal PGRA dovranno pertanto successivamente essere integrate all'interno del PAI che resta l'unico strumento normativo di vincolo sul territorio. Per le aree attualmente perimetrate all'interno del PGRA ma non perimetrate nei vigenti PAI, o comunque non regolamentate da nessuna disposizione nelle norme di attuazione dei PAI medesimi, ai sensi della Delibera n.2 della Conferenza Istituzionale Permanente del 20/12/2019 sono attuate misure di

salvaguardia da applicare a tutte le nuove attività e i nuovi interventi in relazione alle diverse classi di pericolosità.

Per verificare eventuali interferenze tra il progetto e il PGRA sono stati consultati gli shapefile delle mappe di pericolosità da alluvione e mappe del rischio di alluvioni disponibili sul sito dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale; la perimetrazione delle mappe di pericolosità coincide con quella del PAI, e pertanto si rimanda alle figure riportate al precedente paragrafo 3.1.

Le mappe di rischio del PGRA hanno le medesime perimetrazioni delle mappe di pericolosità, classificandole in questo modo:

- Tr 30 anni: classe di rischio R3
- Tr 200 anni: classe di rischio R2
- Tr 500 anni: classe di rischio R1

Avendo quindi confermato le medesime perimetrazioni del PAI non sono previste ulteriori norme da applicarsi sul sito di progetto.

## 4 Modellazione Geologico-tecnica preliminare

### 4.1 Modello stratigrafico dell'area

La stratigrafia dell'area ove è prevista la realizzazione dei due impianti fotovoltaici è caratterizzata dalla presenza della formazione delle Argille subappennine; le caratteristiche fondazionali delle strutture connesse all'impianto in progetto, estremamente superficiali, fanno sì che questa formazione assieme alla sua coltre superficiale di alterazione sia l'unica di interesse ai fini della progettazione. Di seguito si riportano nuovamente le caratteristiche litologiche della formazione:

- Argille subappennine, limi con sabbia passanti a limi debolmente sabbiosi, più o meno marnosi e fossiliferi, di prevalente colore grigio-azzurro, localmente hanno una colorazione giallastra nella parte più alta dovuta a fenomeni di alterazione ed ossidazione

### 4.2 Modello Geotecnico preliminare dell'area

Poiché in questa fase non è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche di dettaglio, la caratterizzazione geotecnica preliminare dei terreni affioranti è stata prodotta facendo riferimento alla documentazione esistente e liberamente consultabile in rete.

Nella seguente Tabella 1 sono indicati i valori geotecnici preliminari dei seguenti parametri: peso di volume  $\gamma$ , resistenza non drenata  $c_u$ , coesione  $c'$  ed angolo di resistenza al taglio  $\phi'$ , definiti come specificato in precedenza sulla base delle informazioni disponibili in letteratura.

**Tabella 1 – Modello Geotecnico preliminare dell'area degli impianti in progetto**

Unità litotecnica	Natura orizzonte litotecnico	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c_u$ (kPa)	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
1	Argille subappennine	20	120	15	21

Una più precisa caratterizzazione geotecnica dei materiali che costituiscono il terreno di fondazione sarà possibile dopo l'esecuzione della campagna di indagini geognostiche di dettaglio per la definizione del Modello Geologico, del Modello Geotecnico e del Modello Sismico di riferimento, come previsto dalla normativa nazionale vigente (NTC 2018).

## 5 Modello Sismico dell'area

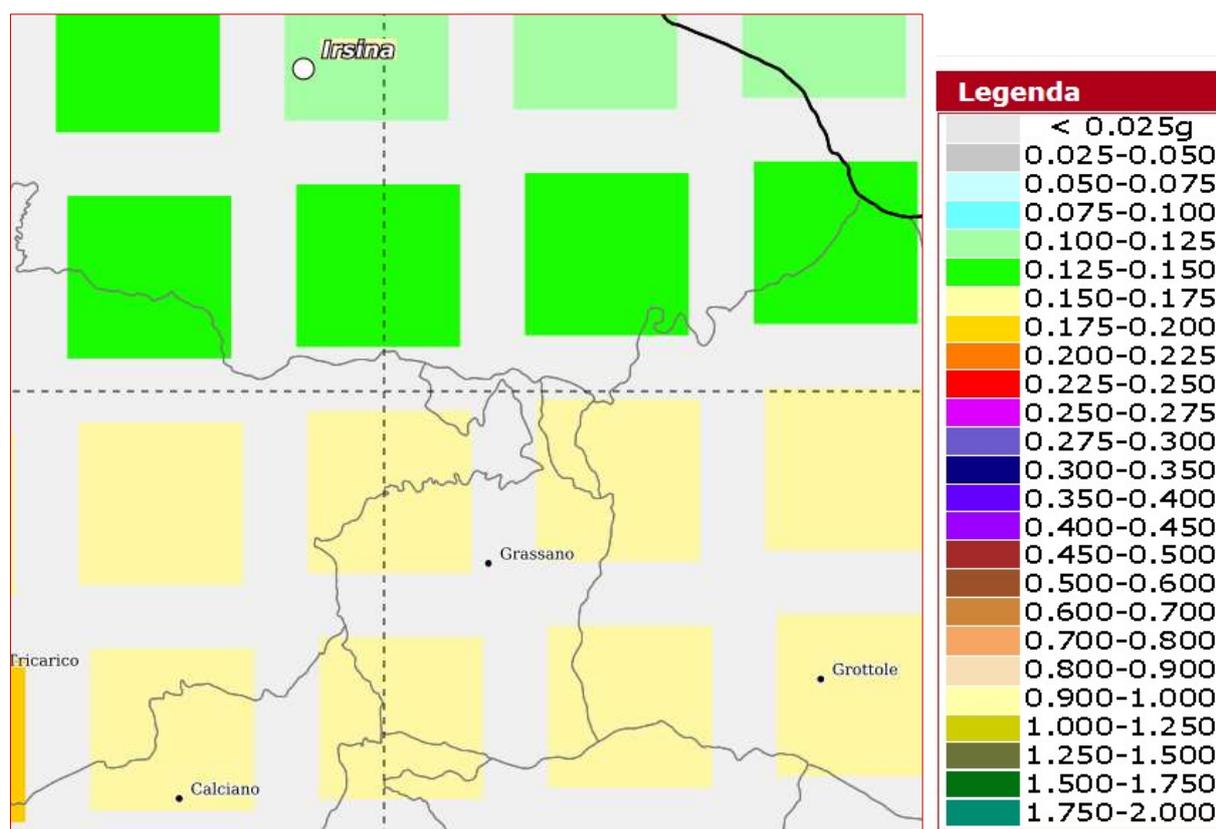
### 5.1 Classificazione sismica regionale

La Regione Basilicata ha recepito la normativa nazionale di classificazione sismica mediante la normativa regionale di classificazione sismica con delibera del Consiglio Regionale 731 del 19 novembre 2003. Con la L.R. n.9 del 7 giugno 2011 (pubblicata sul Bollettino Ufficiale n.17 del 10 giugno 2011) e ss.mm.ii., la Regione Basilicata ha inoltre definito le specifiche per gli studi di microzonazione sismica da effettuare sul territorio regionale e ha riclassificato il territorio regionale.

Ai sensi della classificazione sismica vigente, il territorio interessato dall'opera ricade in zona "2", con valori dell'accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni  $0,15 < a_g / g \leq 0,175$ .

### 5.2 Definizione dell'azione sismica

Figura 8 - Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



Il D.M. 14 gennaio 2008 prima e il D.M. 17 gennaio 2018 poi hanno modificato la tipologia di approccio alla pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale<sup>1</sup> su suolo rigido ( $V_s > 800$  m/s), che attualmente viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente" come definito precedentemente nel "*Rapporto Conclusivo sulla Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica*", elaborato nel 2004 dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia successivamente all'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/2003.

Secondo l'approccio "zona dipendente", adottato dalla precedente normativa nazionale in campo sismico, l'accelerazione di base  $a_g$ , senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni, era direttamente derivante dalla Zona sismica di appartenenza del comune nel cui territorio è localizzato il sito di progetto.

Con l'entrata in vigore delle nuove NTC la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica. Pertanto, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (a riguardo vedere la Figura 8 nella pagina precedente).

Ai sensi delle NTC 2018, fissate la vita nominale  $V_N$ , la classe d'uso  $C_U$  e la vita di riferimento  $V_R$  dell'opera (vedi Tabella 2, ai sensi del paragrafo 2.4.3 delle NTC 2018), è possibile determinare i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*_C$  su sito di riferimento rigido orizzontale necessari per la determinazione delle azioni sismiche, dove:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T^*_C$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

**Tabella 2 – Assunzioni per il calcolo dei parametri per la determinazione dell'azione sismica**

Coordinate area di intervento (Datum ED50)	Long: 16,169612°E Lat: 40,678633 N
Vita nominale $V_N$	≥ 50 anni
Classe d'uso	II
Coefficiente d'uso $C_U$	1
Vita di riferimento $V_R$	50 anni

L'allegato B alle NTC 2008, confermato dalle NTC 2018, riporta i valori dei suddetti parametri per ciascun nodo del reticolo di riferimento, relativi alla pericolosità sismica. Per un qualunque punto

<sup>1</sup> L'accelerazione massima  $a_{MAX}$  corrisponde al picco di accelerazione orizzontale in superficie prodotto dal terremoto con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni), per terreni compatti, roccia o suolo molto rigido, in occasione di terremoti di moderata o alta magnitudo, che si verificano a distanza dal sito da media a elevata

del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri "p" ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ ) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici, attraverso la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

nella quale:

- p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame
- $p_i$  è il valore del parametro di interesse nell'i-esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame
- $d_i$  è la distanza del punto in esame dall'i-esimo punto della maglia suddetta

Utilizzando il documento \*.xls Spettri – NTC ver.1.0.3 fornito sul sito internet del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, è stato possibile determinare i parametri suddetti per le assunzioni riportate in Tabella 2 (vedi Tabella 3).

**Tabella 3 – Valori dei parametri sismici in corrispondenza dell'area di intervento**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0,044	2,458	0,287
SLD	50	0,058	2,507	0,315
SLV	475	0,156	2,513	0,366
SLC	975	0,194	2,579	0,386

Ai sensi delle NTC gli SLO (Stato Limite di Operatività) e SLD (Stato Limite di Danno) rappresentano gli Stati Limite di Esercizio (SLE), mentre gli SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) e SLC (Stato Limite di prevenzione del Collasso) rappresentano gli Stati Limite Ultimi (SLU) della costruzione.

### 5.3 Condizioni topografiche e categoria di sottosuolo

Relativamente alla modellazione sismica dell'area di intervento, gli studi sito specifici effettuati permettono l'approccio semplificato di cui all'art. 3.2.2. delle NTC 2018, facendo riferimento alla categorie di sottosuolo ivi definite.

La categoria topografica di riferimento è la **T1**, trattandosi di pendii con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ . Per una descrizione dettagliata delle caratteristiche tecniche dell'indagine MASW/HVSR eseguita si rimanda alla relazione tecnica contenuta all'interno dell'ALLEGATO 1.

La velocità media  $V_{s,eq}$  delle onde di taglio SH, coincidente in questo caso con la  $V_{s,30}$  dato che il bedrock sismico si trova a profondità superiori, risulta essere pari a **341 m/s**.

Sulla base di questa indagine, ai sensi delle NTC 2018 al terreno può essere attribuita una categoria di sottosuolo "C", definita di seguito:

- Categoria di sottosuolo C – Depositi di terreni a gran grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

I coefficienti di amplificazione topografica  $S_T$  e stratigrafica  $S_s$  da adottare sono quindi rispettivamente di **1,0** e **1,50**.

### 5.4 Determinazione frequenza di sito

Sempre all'interno dell'elaborato contenente la relazione tecnica sulle indagini geofisiche sono inseriti i risultati delle indagini di sismica passiva H/V eseguite nell'area, che hanno permesso di determinare la frequenza caratteristica di risonanza del sito nel range  $0,3 < \nu < 15$  Hz.

Sulla base dell'elaborazione dell'indagine HVSR eseguita, è stato evidenziato un modesto contrasto di impedenza sismica alla frequenza di **4,9 Hz**, interpretabile con il passaggio ad argille molto addensate ad una profondità di circa 20 metri rispetto al piano di campagna.

A disposizione per approfondimenti e chiarimenti,

Dott. Geol. Luca Bargagna



Pisa, 16.05.2022

**ALLEGATO 1**

**INDAGINI GEOFISICHE**



COMMITTENTE : **3E Ingegneria srl - Pisa**

RIF. LAVORO : **Indagini Geofisiche per Impianto Fotovoltaico Tricarico1 e relative opere di connessione - Tricarico (MT)**

ELABORATO : **Report Indagini Geofisiche**

**INDAGINI GEOFISICHE - GEOTECNICHE - CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI**



[www.progeomatera.it](http://www.progeomatera.it)

Il Direttore Tecnico :

**Dr. Geol. G. Michele VIZZIELLO**

PROGEO del Dr. Geol. VIZZIELLO G. M.  
Via Playa, n. 4 Tel. 0835/832812  
75100 MATERA  
Cod. Fisc. VZZ GNN 67H15 F062K  
Part. IVA 00577980774

ELENCO ALLEGATI :

- All.1) Planimetria con Ubicazione Indagini;
- All.2) Prospezioni Sismiche a tecnica Masw (Sismogrammi, Curve di Dispersione, Spettri  $f_x$ ,  $f_v$ ,  $f_k$ , Vseq);
- All.3) Referti HVSr;
- All.4) Documentazione Fotografica.

DATA :

**Maggio 2022**



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO – CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI  
VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746  
[WWW.PROGEOMATERA.IT](http://WWW.PROGEOMATERA.IT)

## **S o m m a r i o**

<b>1. PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2. INDAGINI GEOFISICHE</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Premessa</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Rilievi Sismici a Tecnica MASW</b>	<b>3</b>
<b>2.2.1 Cenni Teorici</b>	<b>3</b>
<b>2.2.2 Acquisizione e Processing dati</b>	<b>5</b>
<b>2.2.2 Strumentazione Adottata e Trattamento dati</b>	<b>6</b>
<b>2.2.3 Risultanze del rilievo a Tecnica Masw</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Misure di rumore sismico ambientale HVSR</b>	<b>8</b>
<b>2.3.1 Misure HVSR (rumore ambientale in campo libero) teoria, scopi e metodi</b>	<b>8</b>
<b>2.3.2 Strumentazione utilizzata, procedure di misura ed elaborazione dati</b>	<b>8</b>
<b>2.3.3 Risultanze delle Misure effettuate</b>	<b>11</b>



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO – CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI

VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746

[WWW.PROGEOMATERA.IT](http://WWW.PROGEOMATERA.IT)

## 1. PREMESSA

Il presente Report riferisce sulle risultanze di una campagna di indagini geofisiche condotta nel maggio 2022, su incarico della Soc. 3E Ingegneria srl di Pisa, riguardante il progetto di realizzazione di un “Impianto Fotovoltaico **Tricarico1** e relative opere di connessione” nel territorio di Tricarico (MT).

L’indagine, tarata sulla necessità di caratterizzare dal punto di vista geofisico i terreni presenti nell’area in parola, è consistita nella:

- Esecuzione di n.1 stendimento sismico a tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*), di lunghezza pari a 48.0ml (sigla: Masw1), realizzato come da planimetria allegata;
- Esecuzione di n.1 misura di rumore sismico ambientale HVSr con tecnica di Nakamura.

Tutte le attività di indagine sono state seguite da ns. tecnici abilitati di comprovata esperienza nel settore specifico, sotto la continua supervisione di tecnici della Committenza.

Nello svolgimento delle attività, si è tenuto conto della documentazione tecnica messa a disposizione dalla Committente e dei risultati dei sopralluoghi effettuati sul sito; eventuali variazioni condotte nell’indagine di campo rispetto alle specifiche tecniche di partenza, sono state preventivamente concordate con la D.L. .



## 2. INDAGINI GEOFISICHE

### 2.1 Premessa

Come riferito in premessa nell'ambito del progetto in essere, si sono adottate metodologie geofisiche quali Rilievi Sismici a tecnica MASW, per valutare la risposta dei terreni alla metodologia ed ottenere informazioni stratigrafiche al di sotto delle sezioni tracciate dai rilievi di campo.

La presente campagna geofisica inoltre, ha consentito di valutare la risposta sismica sito-specifica ai sensi del NTC 2018 - DM 17 gennaio 2018.

Le tipologie di rilievo condotte sul terreno e le ubicazioni corrispondenti, sono state indicate dalla D.L., in maniera tale da investigare al meglio le aree di interesse compatibilmente con gli spazi fisici a disposizione.

### 2.2 Rilievi Sismici a Tecnica MASW

La risposta sismica locale dell'area di interesse, ai sensi della normativa sismica vigente (NTC 2018 – DM 17 gennaio 2008), è stata valutata con Tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*), ottenendo il profilo verticale medio delle Vs nel baricentro della linea a sigla Masw1.

#### 2.2.1 Cenni Teorici

La tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*), consente di fornire un profilo verticale medio delle Vs relative al volume di sottosuolo sotteso dallo stendimento operato.

Tale profilo verticale delle Vs viene ricavato per inversione o per modellizzazione diretta della velocità di fase delle onde di superficie (Rayleigh).

Le onde di Rayleigh costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo ed omogeneo, e sono il risultato dell'interferenza tra onde P ed onde Sv (onde di taglio verticali);

In un mezzo stratificato, tali onde sono di tipo guidato e dispersivo.

La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO – CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI

VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746

[WWW.PROGEOMATERA.IT](http://WWW.PROGEOMATERA.IT)

velocità con la frequenza.

Le componenti con frequenza minore, penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo, e presentano normalmente più elevate velocità di fase.

Il profilo di velocità onde di Rayleigh ( $V_{\text{fase}}/\text{frequenza}$ ), può essere convertito nel profilo  $V_s/\text{profondità}$ . Il metodo SASW (Nazarian e Stokoe, 1984) utilizza una sorgente attiva e due sismometri da 1Hz polarizzati verticalmente spaziati da 1m sino a 500m; le  $V_s$  sono ricavate dallo studio delle velocità di fase delle onde di Rayleigh.

Tali velocità di fase sono ricavate per confronto diretto degli spettri d'ampiezza e fase di ciascuna coppia di sismometri, ottenuti istantaneamente in sito tramite un oscilloscopio che esegue una trasformata veloce di Fourier; l'interpretazione è svolta nel dominio delle frequenze, e si suppone che gli arrivi più energetici appartengano al treno d'onde di Rayleigh.

In ambienti rumorosi, la metodologia SASW non porta sempre a risultati soddisfacenti per il fatto che, nel dominio delle frequenze non è possibile separare le onde di Rayleigh da quelle di altra natura.

Il metodo MASW (Park et al., 1999) è stato sviluppato in parte per superare le difficoltà del metodo SASW in ambienti rumorosi.

Viene effettuata infatti una registrazione simultanea di 12 o più canali, che fornisce una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase e ne avvalorata la veridicità.

In questo caso la interpretazione e salvataggio dati nel dominio temporale, consente di separare le onde di Rayleigh presenti nelle acquisizioni (caratterizzate normalmente da elevata ampiezza di segnale); si stima che circa il 60% dell'energia prodotta dalla sorgente artificiale si tramuta in onde di superficie.

L'analisi spettrale detta "*overtone analysis*", produce un grafico Velocità di fase-frequenza in cui si può distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie sul quale effettuare il *picking* della curva di dispersione, ed ottenere per successiva inversione il profilo 1-D delle  $V_s$ . La tecnica prevede inoltre di eseguire misure ripetute spostandosi nella direzione di allineamento dello stendimento.



### 2.2.2 Acquisizione e Processing dati

L'analisi mediante tecnica MASW, è stata effettuata registrando onde di superficie (sorgente attiva-massa battente) registrando i dati sismici (*common-shot ghaters*) mediante array lineare di 24 geofoni (bassa frequenza: 4.5 Hz) su n.3 tracce da 1 sec/cad, con geofoni distanziati con passo **2.0m** e offset pari a **2.0-5.0-10.0m**.

Si sono registrate su n. 24 canali, onde con *range* di frequenza 2-30 Hz, che in condizioni ottimali offrono dettagliate informazioni sulla ricostruzione del profilo Vs in profondità.

Dopo aver caricato il *dataset* di campo, si è determinato tramite software dedicato lo spettro di velocità (diagramma Velocità/Frequenza).

Nello spettro di velocità *v-f* sono visualizzati gli andamenti con evidente coerenza di fase e potenza significativa che consentono di riconoscere in modo “visivo” le onde di Rayleigh che hanno carattere dispersivo (Modo Fondamentale), rispetto a quelle (onde Rayleigh di ordine superiore, onde di pressione, suono e rumore incoerente) che hanno altri Modi e tipi di onde (Modo superiore – *Aliasing spaziale*).

Si è eseguito il picking (Modo Fondamentale) della curva di dispersione; tali valori sono stati poi plottati su un diagramma *velocità'-frequenza*, per l'analisi della curva di dispersione ed ottimizzazione del modello diretto monodimensionale di Vs. Negli elaborati prodotti sono stati riportati oltre al sismogramma prescelto per l'inversione, i seguenti spettri:

- **Spettro FX**: proviene da una FFT 2D applicata all'intero sismogramma, considerando il valore assoluto delle frequenze positive.  
La figura viene mostrata in un sistema distanza -frequenza. Analizzando lo spettro è possibile comprendere a quali frequenze è situato l'impulso di energia e se al segnale è sovrapposto del *noise*.
- **Spettro FK** : proviene da una FFT 2D applicata all'intero sismogramma medio, considerando il valore assoluto delle frequenze positive.  
La figura viene mostrata in un sistema numero d'onda-frequenza. Da tale spettro è possibile estrarre la curva di dispersione sperimentale.
- **Spettro FV** : proviene da una FFT 2D applicata all'intero sismogramma, considerando il valore assoluto delle frequenze positive.  
La figura viene mostrata in un sistema frequenza-velocità. Anche da tale spettro è possibile estrarre la curva di dispersione sperimentale.

## 2.2.2 Strumentazione Adottata e Trattamento dati

- Sismica a Tecnica MASW:



Fig.1) Sismografo GEODE (Geometrics USA)

### Caratteristiche Tecniche:

Ultra Light-weight: 3.6 kg

Expandable:\* Available with 3 to 24 channels per module; connect more modules to build low cost distributed systems up to 1000 channels.

Unmatched Specifications: 24 bit, ultra-high resolution 20 kHz bandwidth (8 to 0.02 ms sampling), low distortion (0.0005%), low noise (0.2uV), stacking accuracy (1/32 of sample interval).

-Sismografo Mod. **Geode Geometrics** : acquisizione con risoluzione di 24 bit, con 24 canali con segnale digitale memorizzato direttamente sullo strumento; trasferimento dati su PC;

-Apparato di ricezione (per Sismica di Superficie in onda S): 24 geofoni marca OYO-GEOSPACE 4.5 Hz con time break sincrono con la sorgente di energia (starter);

-Sorgente di Energia (per Sismica di Superficie in onda P tipo "Hammer Blow" da 8 Kg che impatta su una piastra in lega d'acciaio (onda P);

-Trattamento dati (per Sismica di Superficie): display sismogrammi, *processing* dei dati SEG-Y, calcolo dello spettro di velocità per ogni traccia acquisita, effettuazione del *picking* della curva di dispersione, plottaggio su un diagramma periodo-velocità di fase, ottimizzazione del modello diretto di velocità delle onde di taglio: softwares:

winMASW 4.0 (Eliosoft); SWAN 1.4 (GeoStudi Astier Srl).

### 2.2.3 Risultanze del rilievo a Tecnica Masw

L'analisi delle velocità delle onde di taglio rilevate con tecnica Masw ha considerato un numero adeguato di strati (n.4) per effettuare un *fitting* migliore della curva di dispersione

Le velocità delle onde di taglio lette lungo la verticale considerata, presumibilmente nei terreni limo-sabbio-argillosi di copertura, hanno evidenziato un incremento a profondità crescenti, risultando medio-basse nei primi due livelli superficiali (v. tabella che segue).

Si osserva un discreto aumento delle velocità a partire dalla quota di 7.6m circa, quando si intercetta presumibilmente il substrato limo-argilloso a maggior consistenza con  $V_s > 300$  m/sec.

Il parametro  $V_{s30}$  calcolato è pari a  $V_s = 341$  m/sec:

Profilo Verticale $V_s$				Masw1
Spessore (m)	Profondità (da m) (a m)		$V_s$ (m/sec)	Tipo di analisi: Onde di Rayleigh
1.93	0.00	1.93	171	VS30 (m/s): 341
5.70	1.93	7.63	264	
10.30	7.63	17.93	344	
12.07	17.93	30.00	480	Tipo di Suolo: C

per cui l'area in esame rientra nella categoria di suolo C di cui alle NTC\_2018.



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO - CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI

VIA LA MARTELLA,126 - 75100 MATERA - 0835-381960-261746

[WWW.PROGEOMATERA.IT](http://WWW.PROGEOMATERA.IT)

## **2.3 Misure di rumore sismico ambientale HVSR**

Nell'area di Intervento, si è condotta nel punto indicato in planimetria inoltre:

- n.1 misura di rumore sismico ambientale in campo libero, con tecnica geofisica denominata HVSR (v. planimetria con indagini allegata).

### **2.3.1 Misure HVSR (rumore ambientale in campo libero) teoria, scopi e metodi**

La tecnica di indagine geofisica denominata HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) si basa sull'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale del moto del suolo causato da sollecitazioni sismiche di qualsiasi ampiezza, generate da terremoti o da sorgenti artificiali.

Negli ultimi anni, si sta rapidamente diffondendo nell'ambito degli studi geologico-ingegneristici la tecnica HVSR che utilizza il rumore (*noise*) sismico, o *microtremore*, come sorgente di sollecitazione del moto del suolo (in questo caso, è nota anche come tecnica di Nakamura).

Lo scopo principale della tecnica HVSR è di individuare eventuali frequenze proprie di oscillazione, o frequenze di risonanza, del suolo. La tecnica si basa sul principio che il suolo è assimilabile ad un corpo viscoelastico, per cui è possibile misurarne le frequenze di risonanza, in ogni punto. L'utilizzo del microtremore, che è costantemente presente in qualsiasi punto della superficie terrestre, rende questo tipo di prospezione geofisica non intrusiva, rapida e poco costosa.

### **2.3.2 Strumentazione utilizzata, procedure di misura ed elaborazione dati**

La registrazione dei microtremori è stata effettuata in questo studio con il tromografo digitale modello "Tromino" della ditta Micromed s.r.l., che è uno strumento progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Si tratta di un apparecchio portatile compatto di circa 10x7x14 cm e 1.0 kg di peso, dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza alcun cavo esterno.

Lo strumento ha una curva di risposta pressoché piatta nella banda di interesse per la norma DIN 4150, grazie a sismometri *mid-frequency* la cui risposta viene digitalizzata a 24 bit A/D con una



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO – CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI

VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746

[WWW.PROGEOMATERA.IT](http://WWW.PROGEOMATERA.IT)

frequenza di campionamento di 512 Hz.

Lo strumento memorizza i dati in una scheda di memoria interna da 1 Gb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico o elettronico; registra contemporaneamente la componente verticale e le due componenti orizzontali N-S e E-O, tra loro ortogonali.

Per questo motivo, prima di avviare ogni misura, lo strumento deve essere collocato in posizione perfettamente orizzontale (con l'ausilio di una bolla incorporata sulla sua parte superiore) e con la freccia presente accanto al display direzionata verso il Nord.

I risultati di ciascuna analisi sono stati ottenuti col software Grilla in dotazione a TROMINO. In sintesi, il segnale dei velocimetri è acquisito in ciascun sito per un tempo  $t$  (per questo studio,  $t = 20$  minuti), e digitalizzato a 24 bit. Il software Grilla, per ciascuna delle 3 componenti del moto:

1. divide il tracciato acquisito in finestre di lunghezza (durata)  $L$
2. elimina il trend da ciascuna finestra
3. ne fa il "taper" con una finestra Bartlett
4. crea il "pad" di ciascuna finestra con degli zero
5. calcola la trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra
6. calcola lo spettro di ampiezza per ciascuna finestra
7. liscia lo spettro di ogni finestra secondo la funzione di lisciamento  $f$ , e calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza, per ciascuna finestra.

Il principale prodotto finale dell'elaborazione dei dati registrati dal Tromino è rappresentato dal grafico HVSR (fig. 4), con in ascissa i valori di frequenza (espressi in Hz) e in ordinata l'ampiezza del rapporto spettrale HV (adimensionale).

La funzione HVSR finale è data dalle media degli HVSR di ciascuna finestra. Per produrre l'HVSR finale, le componenti orizzontali sono mediate tra loro con la media quadratica e vengono poi divise per la componente verticale. Tutti i grafici HVSR presentati in questo studio sono stati ottenuti con lisciamento secondo finestre triangolari con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale.

Ciascun picco nel grafico HVSR indica, in ascissa, un valore di frequenza di risonanza (o modo fondamentale), al quale corrisponde, in ordinata, un valore di amplificazione delle componenti orizzontali del moto del suolo rispetto alla componente verticale. Poiché la frequenza è relazionata



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO – CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI

VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746

[WWW.PROGEOMATERA.IT](http://WWW.PROGEOMATERA.IT)

alla profondità secondo la formula :

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4H} \quad [1]$$

il valore di una frequenza di risonanza corrisponde alla profondità della superficie di discontinuità che separa due livelli stratigrafici sovrapposti e che mostrano un contrasto di impedenza sismica.

Maggiore è il contrasto di impedenza tra due strati geologici, maggiore è l'ampiezza attesa del picco HV, tuttavia è importante sottolineare che la relazione tra le due variabili non è lineare.

Per ogni misura, oltre al grafico HVSR, il software Grilla elabora altri 3 grafici:

- l'H/V TIME HISTORY, utile per distinguere i picchi che sono propri del sito (riconoscibili per l'intera durata della registrazione) da quelli che non lo sono (quindi riconoscibili solo in alcuni brevi momenti della registrazione) e che vengono di solito eliminati nell'elaborazione finale degli HVSR;
- il DIRECTIONAL H/V, che serve per evidenziare l'eventuale direzionalità di un picco, ovvero per capire se una frequenza di amplificazione è legata ad una particolare struttura (caratterizzata quindi da una sua orientazione) oppure se essa presenta una distribuzione isotropica nel terreno;
- il SINGLE COMPONENT SPECTRA, che evidenzia l'andamento spettrale velocità/frequenza di ognuna delle tre singole componenti di moto del suolo.

L'insieme dei 4 grafici viene infine illustrato nel referto automatico che il software Grilla elabora per ogni misura.



### 2.3.3 Risultanze delle Misure effettuate

Si è eseguita n.1 misura di rumore sismico ambientale (denominata HVSR\_1), della durata di 20 minuti ciascuna.

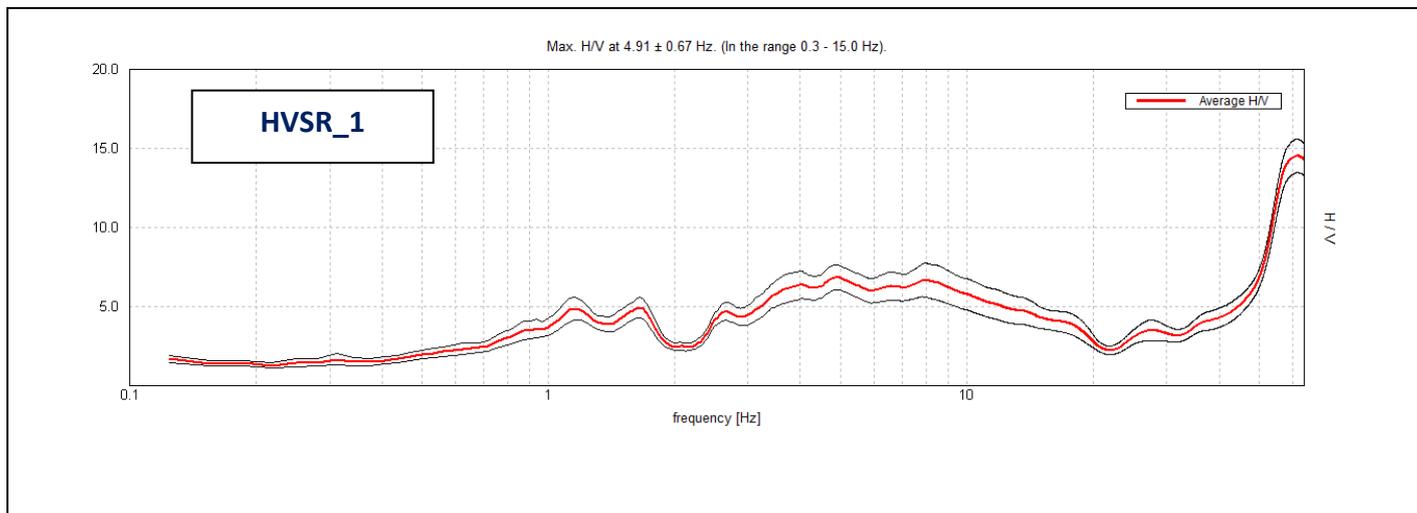
La misura è stata eseguita su terreno agrario, prestando particolare attenzione nel verificare che la superficie di appoggio dello strumento fosse perfettamente in piano e solidale con la stessa.

Prima di procedere all'elaborazione finale, le misure sono state 'ripulite' manualmente da ogni disturbo (generalmente antropico) indotto da cause diverse dal rumore ambientale. Al termine di questa operazione, le misure sono state ridotte di una determinata percentuale della durata originaria.

Nell'elaborazione finale delle misure, è stata utilizzata una frequenza di campionamento di 128 Hz, con finestre di 20/60 s e una percentuale di "lisciamento" (*smoothing*) del 10%. L'intervallo totale di frequenza analizzato è compreso tra 0.0 e 64 Hz, mentre l'intervallo di frequenza considerato significativo per l'interazione suolo-struttura e tenuto quindi in considerazione nei referti automatici per l'eventuale esistenza di picchi di amplificazione evidenti è 0.3 – 15 Hz. L'analisi e la discussione dei grafici HVSR sono state quindi limitate all'intervallo 0.3 – 15 Hz.

In questo paragrafo sono illustrati e discussi i grafici HVSR riferiti alle misure effettuate, mentre i referti automatici elaborati dal software Grilla, completi di tutti i grafici sviluppati per ogni singola misura, sono riportati come allegato di questo studio.

Il grafico HVSR della misura condotta, ha fornito i seguenti esiti (è bene ricordare che i criteri SESAME (2005) considerano significativi solo picchi con ampiezza H/V superiore a 2):



**Fig.2)** Grafico HVSr ottenuto dalla misura di rumore ambientali effettuata (HVSr1). Per la discussione dei dati, vedi testo. I picchi di amplificazione a frequenze superiori a 13-15 Hz non sono rilevanti dal punto di vista dell'interazione suolo-struttura e sono probabilmente generati dalla presenza di sottili livelli superficiali di materiale sciolto, naturale (suolo, detrito, solette antropiche etc.). I rapporti completi prodotti dal software Grilla per ognuna delle misure sono consultabili nell'Allegato specifico "Referti H/V"

Le curva HVSr ottenuta dalla misura di rumore ambientale HVSr\_1, mostra un modo di oscillazione fondamentale del terreno per il valore di frequenza di 4.91 Hz; tale picco non è ben definito/delineato (assimilabile piuttosto ad un Plateau), con curva H/V cosiddetta "affidabile", con criteri di "chiarezza" per un picco H/V parzialmente soddisfatto (n.4 su n.6) (vedi referti specifici).

**\*\* Ciò chiarito, per le tipologie di rilievo effettuate, si rimanda agli elaborati specifici prodotti, per una più approfondita analisi dello studio condotto.**

**Elenco Allegati:**

- All.1) Planimetria con Ubicazione Indagini;
- All.2) Prosperezioni Sismiche a tecnica Masw (Sismogrammi, Curve di Dispersione, Spettri fx, fv, fk, Vseq);
- All.3) Referti HVSr;
- All.4) Documentazione Fotografica.



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO - CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI  
VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746  
[WWW.PROGEOMATERA.IT](http://WWW.PROGEOMATERA.IT)

### **All.1) Planimetria con Ubicazione Indagini**

TRICARICO1

Legenda

-  HVSR
-  MASW

HVSR1



Masw1





DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO – CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI  
VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746  
[WWW.PROGEOMATERA.IT](http://WWW.PROGEOMATERA.IT)

**All.2) Prospezioni Sismiche a tecnica Masw (Sismogrammi, Curve di Dispersione, Spettri  $f_x$ ,  $f_v$ ,  $f_k$ ,  $V_{seq}$ )**

# Vseq/Vs30-Metodo MASW (Multichannel Analysis of Superficial Waves)

Rif.: Indagini Geofisiche per Impianto Fotovoltaico  
Tricarico1 e relative opere di connessione - Tricarico  
(MT)

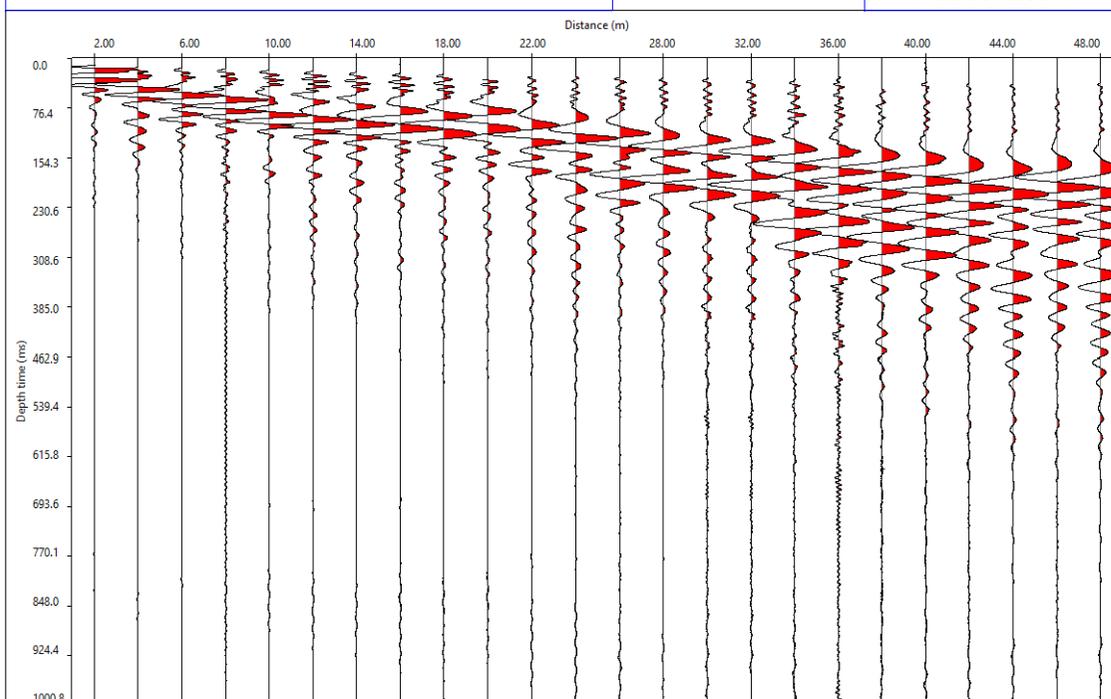
Committ: 3E Ingegneria srl - Pisa

Data: Mag.2022

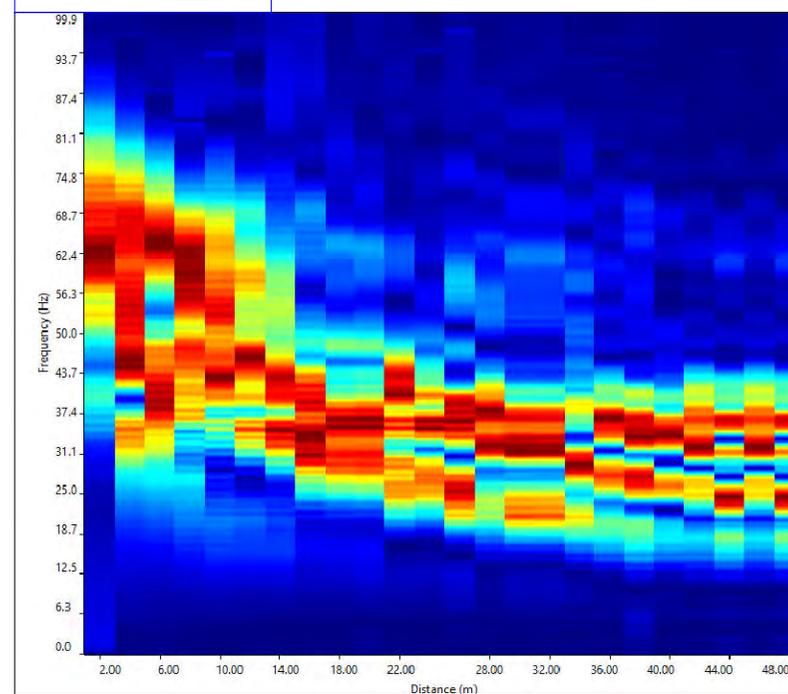
Rif: MASW\_1

## Sismogramma di Riferimento

Shot: 2.0m  
Passo: 2.0m



## Spettro FX



# Vseq/Vs30-Metodo MASW (Multichannel Analysis of Superficial Waves)

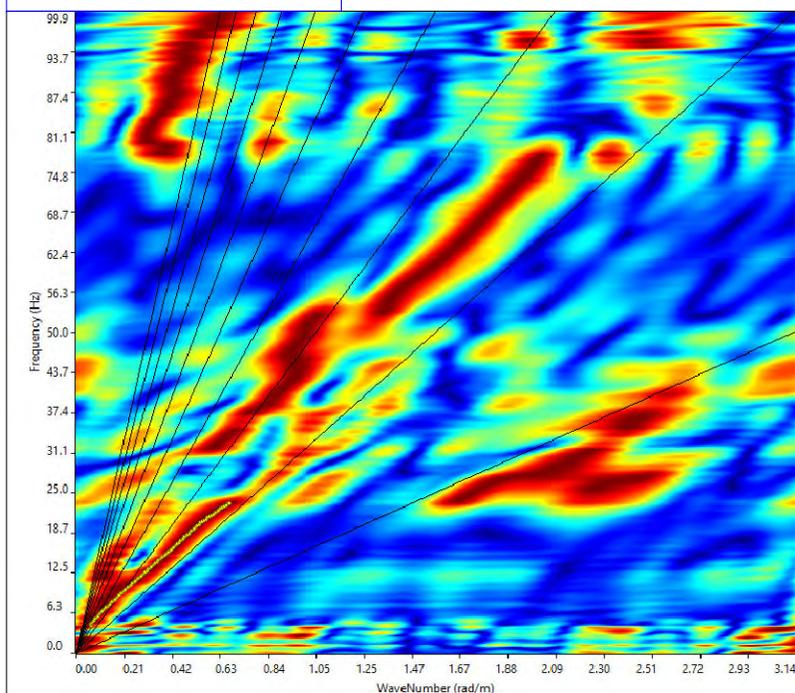
Rif.: Indagini Geofisiche per Impianto Fotovoltaico  
Tricarico1 e relative opere di connessione - Tricarico  
(MT)

Committ: 3E Ingegneria srl - Pisa

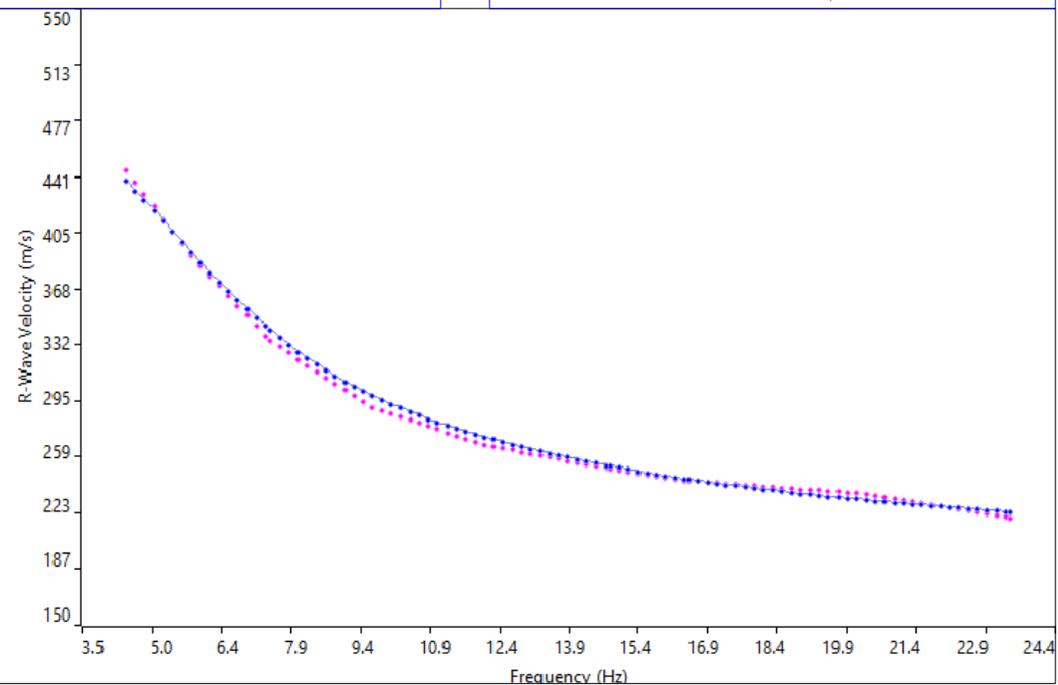
Data: Mag. 2022

Rif: MASW\_1

## Spettro FK



## Curve di Dispersione



Sperimentale Teorica Calcolata



WWW.PROGEOMATERA.IT

Dr. G. Michele VIZZIELLO - Matera 0835-381960

# Vseq/Vs30-Metodo MASW (Multichannel Analysis of Superficial Waves)

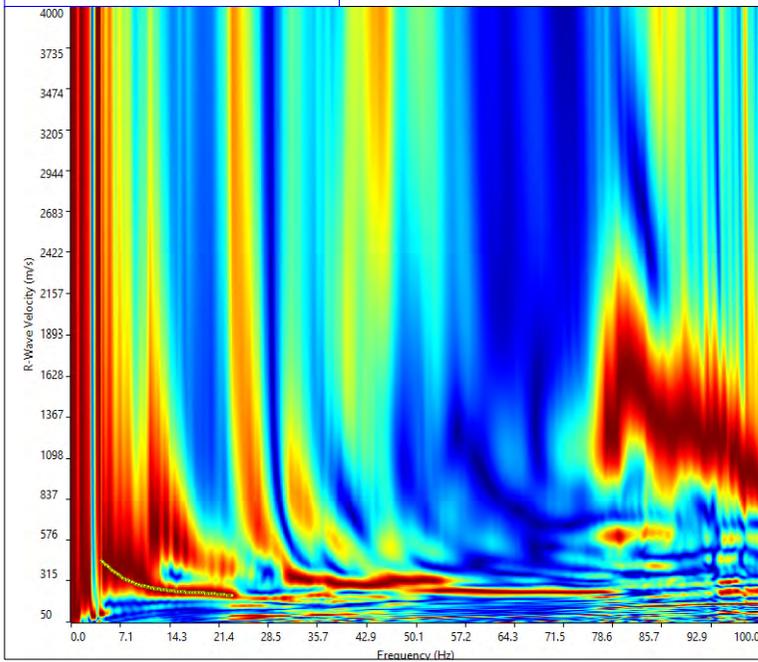
Rif.: Indagini Geofisiche per Impianto Fotovoltaico  
Tricarico1 e relative opere di connessione - Tricarico  
(MT)

Committ: 3E Ingegneria srl - Pisa

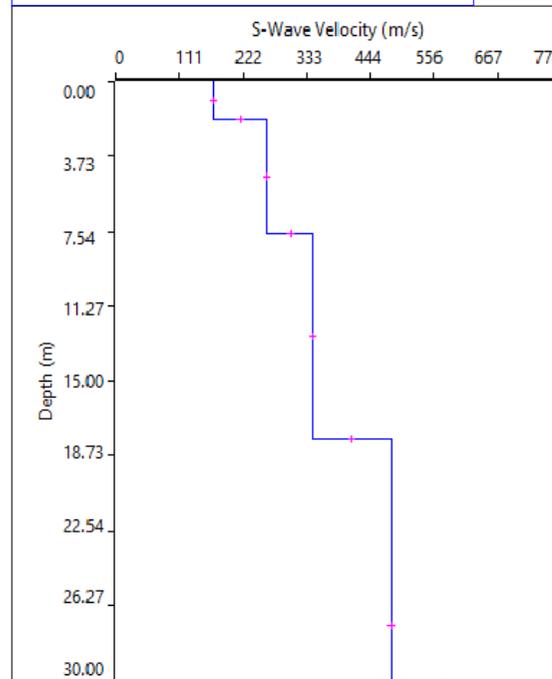
Data: Mag. 2022

Rif: MASW\_1

Spettro FV



Profilo verticale Vs



Profilo Verticale Vs				Masw1
Spessore (m)	Profondità (da m)	a (m)	Vs (m/sec)	Tipo di analisi: Onde di Rayleigh
1.93	0.00	1.93	171	VS30 (m/s): 341
5.70	1.93	7.63	264	
10.30	7.63	17.93	344	
12.07	17.93	30.00	480	Tipo di Suolo: C



WWW.PROGEOMATERA.IT

Dr. G. Michele VIZZIELLO - Matera 0835-381960



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO - CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI

VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746

[WWW.PROGEOMATERA.IT](http://WWW.PROGEOMATERA.IT)

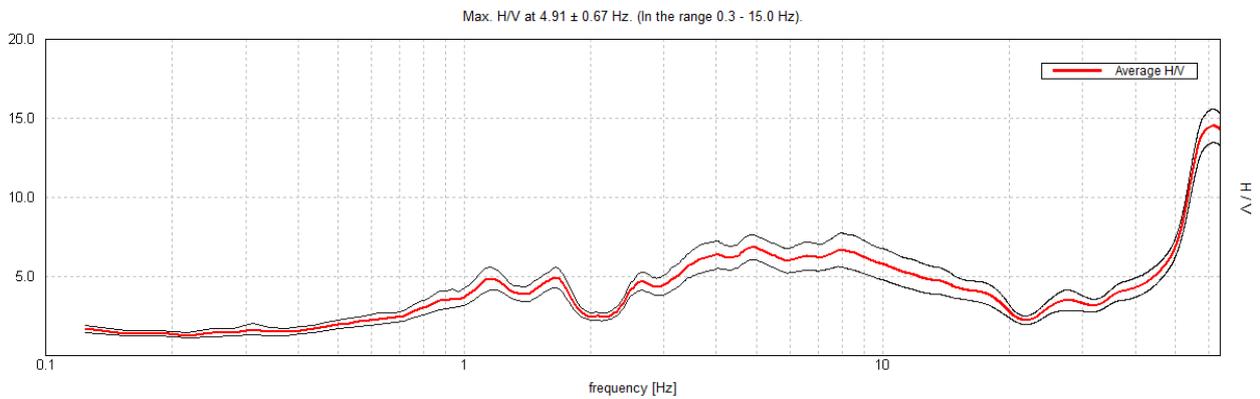
### **All.3) Referti HVSR**

**TRICARICO FOTOVOLT 3E, TRICARICO1\_HVSR1**

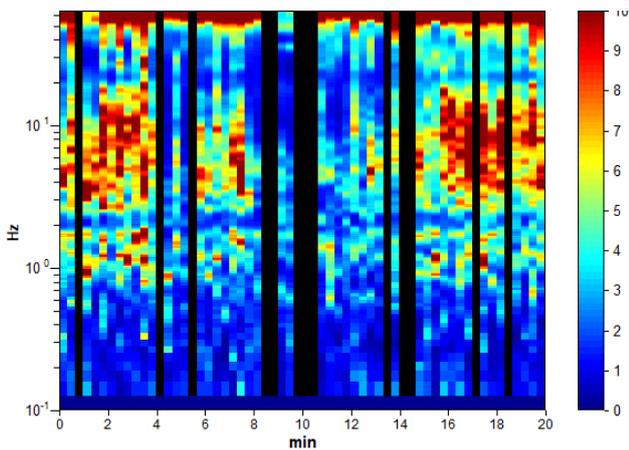
Instrument: TRZ-0157/01-11  
 Data format: 16 bit  
 Full scale [mV]: 51  
 Start recording: 28/04/2022 00:50:46 End recording: 28/04/2022 01:10:46  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 78% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

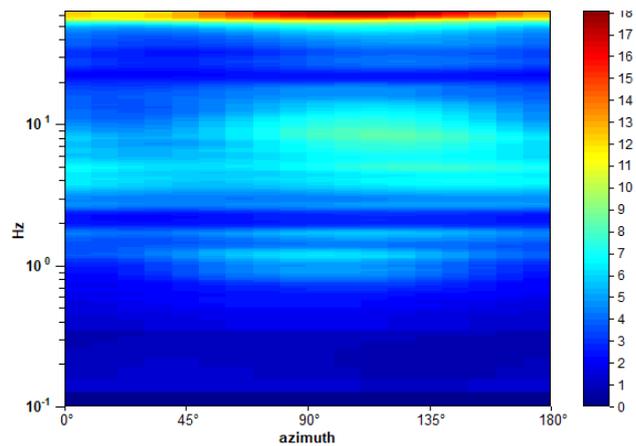
**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**



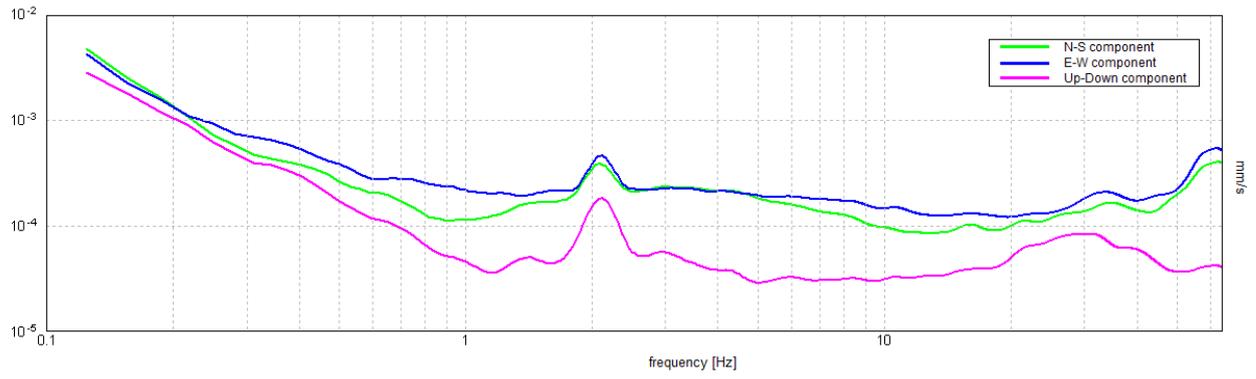
**H/V TIME HISTORY**



**DIRECTIONAL H/V**



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $4.91 \pm 0.67$  Hz (in the range 0.3 - 15.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$4.91 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$4611.9 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 236 times	OK	

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.406 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	18.969 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$6.84 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.13748  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.67453 < 0.24531$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7823 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO – CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI  
VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746  
[WWW.PROGEOMATERA.IT](http://WWW.PROGEOMATERA.IT)

#### **All.4) Documentazione Fotografica**



**Rilievo Sismico a tecnica masw – MASW1**



**Rilievo Sismico a tecnica masw – MASW1**



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO - CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI

VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746

[WWW.PROGEOMATERA.IT](http://WWW.PROGEOMATERA.IT)



**Misura di rumore sismico ambientale HVSr1**